

اثر سطوح مختلف سلنات و سلنیت سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر غذایی در نعنای فلفلی

حلیمه جعفری^۱ و محمد مقدم*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۶)

چکیده

به منظور بررسی اثر سلنات سدیم (Na_2SeO_4) و سلنیت سدیم (Na_2SeO_3) بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر غذایی در نعنای فلفلی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و سطوح مختلف سلنات سدیم و سلنیت سدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) در شرایط کشت بدون خاک در محلول هوگلند در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. سپس صفات مورفولوژیک و غلظت عناصر غذایی برگ در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد کاربرد دو فرم سلنیوم در غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش صفات رشدی در نعنای فلفلی شد. بیشترین غلظت هر دو نمک سبب کاهش رشد گیاه شد. همچنین با افزایش غلظت سلنیت و سلنات سدیم، غلظت سلنیوم برگ افزایش یافت؛ ولی کاربرد سلنات سدیم موجب افزایش بیش‌تر غلظت این عنصر در برگ شد. هر دو فرم سلنیوم موجب افزایش غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف برگ نعنای فلفلی شد. در تیمار ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم، غلظت عناصر غذایی پرمصرف برگ شامل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به ترتیب ۱۱/۱، ۳/۲، ۱۱/۶ و ۹/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که این تغییرات به لحاظ آماری نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین غلظت نیتروژن در تیمار ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که با افزایش ۴۳/۷ درصدی نسبت به شاهد همراه بود. در سطوح ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات و سلنیت سدیم، غلظت عناصر آهن، بور، روی و مس (به جز مولیبدن و منگنز) افزایش یافت. به طوری که بیش‌ترین غلظت عناصر آهن و بور مربوط به تیمار ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود که به ترتیب ۶۰/۲ و ۲۵/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت عناصر روی و مس مربوط به تیمار ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم بود که به ترتیب ۶۳/۳ و ۴۰/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد سطح کاربرد ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم می‌تواند برای بهبود رشد و شرایط تغذیه‌ای گیاه نعنای فلفلی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: غلظت عناصر غذایی، زیست‌توده کل، سلنیوم، طول ریشه.

مقدمه

تواند نقش یک عنصر مفید را در تغذیه گیاهان، ایفا کند (۵۳).

بنا به گزارش باکر و پیلیم (۹) غلظت سلنیوم در خاک اکثر

سلنیوم عنصر غذایی ضروری برای گیاهان نیست، ولی می-

۱- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.moghadam@um.ac.ir

و با اثرگذاری بر فعالیت آنزیمی، می‌تواند رادیکال‌های آزاد به وجود آمده را مهار کند (۴۸). سلنیوم با پروتئین ترکیب شده و سلنوپروتئین را تولید می‌کند که مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند (۶۲). سلنیوم یک عنصر ضروری برای ۳۰ سلنوآنزیم و سلنوپروتئین و همچنین بخش مهمی از ساختار آنزیم‌هایی است که در برابر رادیکال‌های آزاد از سلول‌ها مراقبت و محافظت می‌کنند (۷۱). گیاهانی توان تجمع سلنیوم و مقاومت زیادی در برابر آن دارند (گیاهان انباشت‌کننده سلنیوم) و سلنیوم را در ترکیب اسیدهای آمینه غیرپروتئینی وارد می‌کنند. اسیدهای آمینه سلنیومی مانند سلنومتیونین و سلنوسیتین می‌توانند جایگزین اسیدهای آمینه گوگردی شوند که در اثر یکسری واکنش‌های بیوشیمیایی این فرایند مختل می‌شود. سمیت سلنیوم در غلظت‌های زیاد برای گیاهان کاملاً شناخته‌شده بوده و نوعی تنش محسوب می‌شود، ولی اثر حفاظتی غلظت‌های کم سلنیوم در گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی و گونه‌های فعال اکسیژن در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (۶، ۲۴ و ۲۵). اکثر ویژگی‌های رشدی و رویشی گیاهان با توجه به غلظت سلنیوم افزایش می‌یابد. خادمی آستانه و همکاران (۳۷) گزارش کردند کاربرد سلنیوم در غلظت ۸ میلی‌گرم بر لیتر در کلم تکمه‌ای سبب افزایش وزن تازه و خشک برگ و ساقه شد؛ ولی غلظت‌های بیش‌تر از ۸ میلی‌گرم بر لیتر سطح برگ، وزن تازه و خشک برگ، ساقه و ریشه آن را کاهش داد که به دلیل آثار سمی ایجادشده در غلظت زیاد سلنیوم در این گیاه بود. افزایش وزن خشک بخش رویشی و وزن خشک بذر در گیاه کلزا با کاربرد سلنیوم مشاهده شده است (۲۶). همچنین کاربرد سلنیوم سبب افزایش عملکرد و افزایش تولید ماده خشک دانه، کاه و ریشه در گیاه گندم شد (۱۶). سلنیوم با اثر بر مورفولوژی ریشه‌ها سبب افزایش رشد طولی ریشه‌ها و تحریک رشد عمومی گیاهان می‌شود (۶). براساس پژوهش عامریان و همکاران (۵)، سلنیوم در مقادیر کم سبب افزایش رشد گیاه پیاز شد و با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی محتوای کلروفیل و رشد پیاز کاهش یافت. افزایش رشد در غلظت‌های کم به دلیل

نقاط جهان نسبتاً کم بوده و در بیش‌تر گیاهان غلظت سلنیوم کم‌تر از ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه است. سلنیوم عمدتاً به شکل سلنات سدیم یا سلنیت سدیم از خاک توسط گیاهان جذب می‌شود اگرچه فراهمی سلنیت نسبت به سلنات در خاک کم‌تر است (۶۶). زمانی که سلنیت جذب گیاه می‌شود به‌سرعت به ترکیبات آلی سلنیومی در ریشه تبدیل شده که در آوند چوبی کم‌تر تحرک هستند (۵۶). نمک‌های سلنات بسیار محلول بوده و به آسانی جذب گیاه می‌شوند، ولی سلنیت بیش‌تر جذب کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن موجود در خاک می‌شود (۱۲). شکل‌های غیرآلی سلنیوم از لحاظ جذب و تحرک در گیاهان متفاوت هستند. به‌دلیل تجمع سلنیت در ریشه و انتقال سلنات به شاخه‌ها، در برنامه‌های غنی‌سازی زیستی سلنیوم، فرم سلنات نسبت به فرم سلنیت بیش‌تر توصیه می‌شود. در غلظت‌های یکسان فرم سلنات نسبت به سلنیت سریع‌تر توسط ریشه گیاهان جذب می‌شود (۷۱). تأکید بیش‌تر بر استفاده از سلنات است، زیرا فراهمی کم‌تر سلنیت در خاک در مقایسه با سلنات، باعث کاهش استفاده از آن در کودها شده است (۴). تیمارهایی با غلظت زیاد سلنیوم منجر به کلروز و نکروز برگ‌گی و کاهش رشد گیاهان می‌شوند. به‌طور کلی مقادیر سمی سلنیوم سبب غیرفعال کردن آنزیم‌ها و همچنین جاننشینی با عناصر ضروری و در نتیجه اختلال در رشد گیاه می‌شوند (۳۴). عناصر غذایی کم‌مصرف مورد نیاز بدن انسان و دام را به کمک دو روش به‌زراعی و به‌نژادی می‌توان تأمین کرد. سلنیوم از جمله عناصری است که کمبود یا سمیت آن نقش مهمی در سلامت و تغذیه انسان و دام می‌تواند داشته باشد. با کاربرد برگ‌گی یا خاکی سلنیوم در روش به‌زراعی در مراحل فنولوژیک می‌توان عنصر سلنیوم را به زنجیره غذایی انسان و دام وارد کرد (۱۸). در بین عوامل متعدد برای کاهش آثار منفی تنش‌ها در گیاهان می‌توان به نقش مهم عنصر سلنیوم اشاره کرد. ایفای نقش سلنیوم با خشی‌سازی اثر تنش‌های غیرزنده از طریق مکانیسم‌های تقریباً پیچیده مشخص شده است. سلنیوم در ساختار برخی از آنزیم‌ها و ترکیبات موجود در گیاه وجود دارد

نقش آنتی‌اکسیدانی این عنصر است و در غلظت‌های زیاد، سلنیوم مانند یک اکسیدان سبب کاهش سنتز کلروفیل و در نهایت کاهش رشد می‌شود. همچنین سلنیوم در غلظت کم سبب افزایش جذب عناصر و مواد غذایی در گیاهان و در نتیجه افزایش زیست‌توده و بهبود رشد گیاه می‌شود (۵).

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) یکی از گیاهان دارویی پرمصرف متعلق به خانواده نعناعیان است که در بسیاری از کشورها به‌عنوان یک گیاه دارویی ارزشمند کشت می‌شود (۷ و ۳۵). از مهم‌ترین اهداف تولید گیاهان دارویی، افزایش عملکرد کمی و کیفی آن‌هاست که در این بین توجه به نیازمندی‌های غذایی و تغذیه معدنی و آلی گیاهان از اهمیت خاصی برخوردار است (۲ و ۴۹). تغذیه در کشت‌های گلدانی و هیدروپونیک از حساسیت زیادی برخوردار است؛ بنابراین انتخاب نسبت‌های مناسب عناصر در محلول غذایی پایه بسیار مهم است. زیرا، نقش اساسی این عناصر در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه است که سبب افزایش عملکرد محصول به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌شود (۵۵). با توجه به اهمیت گیاه نعناع فلفلی در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی، هدف از این پژوهش ارزیابی و مقایسه کاربرد سطوح مختلف سلنیوم به دو فرم سلنات و سلنیت سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر غذایی برگ نعناع فلفلی در شرایط کشت بدون خاک بود. تاکنون پژوهشی در این زمینه در گیاه نعناع فلفلی انجام نشده است. با توجه به این‌که دانسته‌ها در مورد عناصر مفید اندک است و مکانیسم اثر آن‌ها بر رشد گیاهان مشخص نشده است، بنابراین هدف و نوآوری این پژوهش بررسی و مقایسه اثر سلنیوم به دو فرم مختلف بر رشد و غلظت عناصر غذایی در گیاه نعناع فلفلی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح

مختلف سلنات و سلنیت سدیم (۰، ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) در محلول هوگلند بود. این سطوح براساس گزارش‌های سایر پژوهشگران (۵، ۳۳، ۳۷ و ۶۴) انتخاب شد. آزمایش در گلدان‌های ۱۲ کیلوگرمی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در محیط کشت بدون خاک در بستر ماسه انجام شد. در اسفندماه از مزرعه پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد ریزوم‌های سالم نعناع فلفلی (به طول ۷-۵ سانتی‌متر) تهیه شد و پیش از کاشت در گلدان، ابتدا بستر کشت گلدان‌ها با اسید کلریدریک ۳ درصد و سپس چندین بار با آب مقطر کاملاً شسته شد تا به‌طور کامل از هر نوع خاک، بقایای گیاهی و عناصر غذایی عاری شود. یک زیرگلدانی در زیر هر گلدان قرار داده شد تا با جمع‌آوری زه‌آب نمونه‌ها، میزان pH و EC در طول دوره آزمایش بررسی شود. در حالت کلی محدوده مناسب pH برای بیش‌تر محلول‌های غذایی برای پرورش گیاهان در محیط‌های کشت غیرآلی و بیش‌تر محیط‌های آبکشتی بین ۵/۸ تا ۶/۵ پیشنهاد می‌شود (۶۶). اکثر محلول‌های غذایی دارای رسانایی الکتریکی کم (کم‌تر از سه دسی‌زیمنس بر متر) هستند (۱۱). ریزوم‌ها پیش از کشت با آب شسته شدند تا ذرات خاک چسبیده به آن‌ها جدا شود و در هر گلدان، پنج ریزوم دارای جوانه‌های سالم، در عمق پنج سانتی‌متری بستر کاشته شدند. گلدان‌ها در طی دوره رشد گیاه در دمای محیط در روز حدود 25 ± 2 و در شب 18 ± 2 درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی حدود ۶۰-۷۰ درصد، قرار گرفتند و با آب مقطر آبیاری شدند. ابتدا نمک‌های لازم با توجه به غلظت عناصر بر اساس فرمول هوگلند غذایی تهیه شد و پس از تنظیم pH و EC در نهایت محلول غذایی هوگلند تهیه شده مورد استفاده گیاهان قرار گرفت. محلول غذایی با توجه به مرحله رشدی گیاه و شرایط محیطی به بستر کشت افزوده شد. برای جلوگیری از تجمع نمک‌ها و عناصر، هر هفته یکبار بستر کاشت به‌صورت مرتب آبشویی شد، به‌صورتی‌که زه‌آب از زیر گلدان‌ها خارج شد. تیمارها تا زمان گل‌دهی گیاه اعمال شده و سپس نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات انجام شد. از روش‌های رایج برای

بور، مولیبدن، سلنیوم و منگنز در گیاه به روش تیزاب سلطانی (۶۱) به نسبت ۳:۱ اسید نیتریک (HNO) و اسید کلریدریک (HCL) و با دستگاه ICP ساخت آلمان (مدل ICP-OES. SPECTROARCOS-76004555) پس از واسنجی دستگاه توسط استانداردهای مورد نیاز در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

بررسی آماری نتایج: تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ رسم شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن تازه برگ، وزن تازه ساقه، طول ریشه، حجم ریشه و زیست‌توده کل در سطح احتمال یک درصد و قطر ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن تازه و خشک برگ مربوط به تیمار ۴ میلی-گرم در لیتر سلنیت سدیم بود که نسبت به گیاهان شاهد به-ترتیب ۸/۷ و ۵/۲ درصد افزایش داشت و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت، اما نسبت به تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم افزایش معنی‌داری نشان داد. کم‌ترین وزن تازه برگ با کاهش ۸۲/۰۵ درصدی و وزن خشک برگ با کاهش ۶۸/۰ درصدی نسبت به شاهد در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و سلنیت سدیم نشان داد. بیش‌ترین زیست‌توده کل (۲۷/۱۱ گرم در بوته) در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و کم‌ترین آن (۲۱/۱۸ گرم در بوته) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. تیمارهای ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم سبب افزایش

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک (وزن تازه و خشک برگ، قطر ساقه، وزن تازه و خشک ساقه، طول ریشه، حجم ریشه و زیست‌توده کل) استفاده شد. شستشوی ریشه‌ها روی الک با اندازه چشمه ۳/۳ میلی‌متر با آب انجام شده و سپس اندازه‌گیری‌ها انجام شد. از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم برای توزین وزن تازه برگ، شاخساره و برای اندازه‌گیری وزن تازه ریشه از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ، شاخساره و ریشه، به مدت ۴۸ ساعت نمونه‌های گیاهی در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند. زیست‌توده کل از مجموع زیست‌توده شاخساره و ریشه به‌دست آمد. طول ریشه با خط‌کش و قطر ساقه با کولیس دیجیتال (برحسب میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. با قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت ۰/۱ میلی‌لیتر، حجم ریشه، از طریق اختلاف حجم ایجادشده محاسبه شد (۳).

غلظت عناصر غذایی در برگ (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سلنیوم، آهن، روی، مس، بور، مولیبدن و منگنز) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن برگ ابتدا ۰/۳ گرم از نمونه خشک گیاه آسیاب شده و در لوله هضم ریخته شد. سپس ۱/۱ گرم کاتالیزور و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد و مخلوط حاصل به‌مدت دو ساعت روی دستگاه هضم قرار داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید بوریک به محتویات لوله افزوده شد. سپس تیتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۰۰۵ نرمال انجام شد و حجم (میلی‌لیتر) اسید سولفوریک استفاده شده در فرمول زیر قرار داده شد و درصد نیتروژن (N) موجود در نمونه با استفاده از ماکروکجلدال محاسبه شد (۲۰):

$$N \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = V \times 0.005 \times 50 \times 14 \times 1000 / (20 \times 0.3) \quad (1)$$

$$N \text{ (\%)} = N \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} / 10000 \quad (2)$$

غلظت پتاسیم در گیاه با دستگاه فلیم‌فتمتری اندازه‌گیری شد (۵۱). اندازه‌گیری غلظت فسفر گیاه به روش مورفی و رایلی (۴۷)، غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس،

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک نعنای فلفلی.

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of the effects of sodium selenate and sodium selenite on morphological characteristics in *Mentha piperita*.

Source of variation	df	MS							
		Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Root volume	Root length	Total biomass	Stem diameter	Stem fresh weight	Stem dry weight
Treatment	6	7.727**	1.8121**	135.413**	15.305**	14.8166**	0.10883*	39.757**	2.9842**
Error	14	1.487	0.3367	5.667	1.775	0.7677	0.02524	4.292	0.4709
CV (%)		8.5	13.05	3.4	4.1	3.5	5.2	9.4	11.9

** و * معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهد.

** and * show significant at 1 and 5 percent probability levels, respectively.

Stem dry weight (g plant⁻¹): وزن خشک ساقه (گرم در گیاه)، Stem fresh weight (g plant⁻¹): وزن تازه ساقه (گرم در گیاه)، Stem diameter (mm): قطر ساقه (میلی‌متر)، Total biomass (g plant⁻¹): زیست‌توده کل (گرم در گیاه)، Root length (cm plant⁻¹): طول ریشه (سانتی‌متر در بوته)، Root volume (mm³ plant⁻¹): حجم ریشه (میلی‌متر مکعب در بوته)، Leaf dry weight (g plant⁻¹): وزن خشک برگ (گرم در گیاه)، Leaf fresh weight (g plant⁻¹): وزن تازه برگ (گرم در گیاه)

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیک در نعنای فلفلی.

Table 2. Mean comparisons of the effect of sodium selenate and sodium selenite on morphological characteristics in *Mentha piperita*.

Treatment	Concentration (mg l ⁻¹)	Leaf fresh weight (g plant ⁻¹)	Leaf dry weight (g plant ⁻¹)	Root volume (mm ³ plant ⁻¹)	Root length (cm plant ⁻¹)	Total biomass (g plant ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Stem fresh weight (g plant ⁻¹)	Stem dry weight (g plant ⁻¹)
Control	0	14.24 ^{ab}	4.83 ^{ab}	67.67 ^{bc}	30.70 ^{bc}	24.03 ^{bc}	2.93 ^b	20.63 ^{abc}	5.97 ^{ab}
Selenate	4	15.48 ^a	5.08 ^a	71.67 ^{abc}	33.23 ^{ab}	27.12 ^a	3.47 ^a	25.88 ^a	7.87 ^a
Selenate	8	13.51 ^{ab}	3.90 ^{ab}	67.00 ^c	31.63 ^{bc}	23.23 ^{bcd}	3.20 ^{ab}	24.14 ^a	6.38 ^{ab}
Selenate	12	11.69 ^b	3.28 ^b	56.33 ^d	28.90 ^c	21.18 ^d	3.00 ^{ab}	17.36 ^{bc}	5.41 ^b
Selenite	4	16.43 ^a	5.32 ^a	77.00 ^a	35.96 ^a	26.75 ^a	3.33 ^{ab}	24.46 ^a	6.83 ^{ab}
Selenite	8	15.25 ^{ab}	4.74 ^{ab}	74.67 ^{ab}	32.01 ^{abc}	25.32 ^{ab}	3.17 ^{ab}	22.89 ^{ab}	6.09 ^{ab}
Selenite	12	13.25 ^{ab}	3.68 ^{ab}	70.33 ^{abc}	30.53 ^{bc}	22.32 ^{cd}	2.03 ^{ab}	16.50 ^c	4.76 ^b

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

Stem dry weight (g plant⁻¹): وزن خشک ساقه (گرم در گیاه)، Stem fresh weight (g plant⁻¹): وزن تازه ساقه (گرم در گیاه)، Stem diameter (mm): قطر ساقه (میلی‌متر)، Total biomass (g plant⁻¹): زیست‌توده کل (گرم در گیاه)، Root length (cm plant⁻¹): طول ریشه (سانتی‌متر در بوته)، Root volume (mm³ plant⁻¹): حجم ریشه (میلی‌متر مکعب در بوته)، Leaf dry weight (g plant⁻¹): وزن خشک برگ (گرم در گیاه)، Leaf fresh weight (g plant⁻¹): وزن تازه برگ (گرم در گیاه)

گرم در لیتر سلنیت سدیم نشان داد. کم‌ترین طول ریشه (۲۸/۹ سانتی‌متر در بوته) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم به‌دست آمد. بیش‌ترین حجم ریشه (۷۷ میلی‌متر مکعب در بوته) در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و کم‌ترین مقدار آن (۵۶/۳ میلی‌متر مکعب در بوته) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم به‌دست آمد. افزایش ۱۳/۸ درصدی حجم ریشه در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم نسبت به شاهد با تیمار ۸ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲).

به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۵/۳ درصدی زیست‌توده کل نسبت به شاهد شد و کاهش ۸۸/۱ درصدی زیست‌توده کل توسط تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم نسبت به شاهد با سایر تیمارها غیر از تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲).
با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، کاربرد تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم سبب افزایش ۱۷/۱ درصدی طول ریشه نسبت به شاهد شد؛ به‌طوری‌که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۸ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۱۲ میلی-

داشت. شکاری و همکاران (۶۴) گزارش کردند که با افزودن سلیوم در غلظت کم (۷ میکرومولار) به محیط رشد گیاه، تقسیم سلولی در قسمت مریستمی افزایش یافته و در نهایت موجب افزایش رشد طولی ریشه گیاه می‌شود. همچنین با افزایش طول ریشه، حجم ریشه گیاه نیز افزایش می‌یابد. گزارش‌های مختلفی از افزایش طول و حجم ریشه در گیاه سیر (۲۸)، فلفل تند (۶۴) و کاهو (۶۵) تحت تیمار سلیوم موجود است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. افزایش رشد با کاربرد سلیوم ممکن است در اثر افزایش تجمع نشاسته در کلروپلاست و حفاظت محتوای سلول باشد (۳۶). در این پژوهش با افزایش غلظت سلیوم مقدار زیست‌توده کاهش یافت. در واقع سلیوم در غلظت زیاد سبب تغییر در نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌های کلسیم، پتاسیم و سدیم می‌شود (۱۷). در پژوهش‌های مرتبط با گیاهان مختلف مانند دو گونه تره ایرانی و تره کوهی (۳۳)، ذرت و لوبیا (۳۲) مشاهده شد که غلظت زیاد سلیوم سبب کاهش رشد می‌شود که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. سلیوم با تقویت و تنظیم مکانیزم‌های تحمل به تنش می‌تواند موجب کنترل رشد گیاه شود (۱۹). در شرایط تنش، جذب مواد و عناصر غذایی توسط ریشه کاهش می‌یابد و همچنین گیاه در این شرایط، برای کاهش و به حداقل رساندن آسیب و خسارت ناشی از تنش به سلول‌هایش، انرژی زیادی مصرف می‌کند. بنابراین مصرف انرژی سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۲۱). براساس پژوهش‌های انجام شده، سلیوم جایگزین گوگرد شده و گوگرد از اجزای ساختاری برخی ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه بوده و نقش بسیار مهمی در رشد گیاهان دارد. فرارگیری سلیوم در ساختار اسیدهای آمینه در غلظت‌های زیاد این عنصر می‌تواند دلیلی برای کاهش رشد باشد (۵). به دلیل اثر سلیوم بر توزیع و تخصیص مواد فتوسنتزی در گیاه، با افزایش غلظت سلیوم و اثر منفی آن بر این توزیع، صفات رشدی کاهش می‌یابد (۶۹). به‌طور کلی کاربرد هر دو فرم سلیت سدیم و سلنات سدیم با غلظت کم سبب افزایش صفات مورفولوژیک در نعنای فلفلی شد که نشان‌دهنده اثر مثبت این عنصر بر رشد رویشی این گیاه است.

براساس مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین وزن تازه و خشک ساقه در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که به‌ترتیب سبب افزایش ۲۵/۴ و ۳۲/۲ درصدی نسبت به شاهد شدند. به‌طوری‌که این افزایش وزن تازه و خشک ساقه تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها (غیر از ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) نداشت. کم‌ترین وزن تازه ساقه (۱۶/۵ گرم در بوته) و وزن خشک ساقه (۴/۷ گرم در بوته) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم حاصل شد. در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم، بیش‌ترین قطر ساقه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد. کم‌ترین قطر ساقه در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد ولی اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت (جدول ۲).

ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه نعنای فلفلی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سلیومی (سلنات سدیم و سلنیت سدیم) قرار گرفت (جدول ۲). در این پژوهش کاربرد سلیوم در سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم سبب افزایش وزن تازه و خشک برگ شد که با نتایج عامریان (۶) در بالنگو، عزیززی (۸) در توت‌فرنگی، خادمی آستانه (۳۶) در کلم هم‌خوانی داشت. تحریک رشد گیاه در اثر کاربرد سلیوم به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی است (۱). گزارش شده است که سلیوم در غلظت‌های کم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و سبب افزایش رشد جوانه می‌شود و در غلظت‌های زیاد مانند بازدارنده رشد عمل می‌کند (۶۷). پژوهش‌های انجام شده توسط عامریان و همکاران (۵) در گیاه پیاز نشان داد که بیش‌ترین وزن تازه برگ و ساقه کاذب در کم‌ترین سطوح سلنات سدیم و سلنیت سدیم مشاهده شد. سلیوم بر سنتز کلروفیل اثر گذاشته و با تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته سبب تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی شده و سبب افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه می‌شود (۵۹). افزایش صفات رشدی در پژوهش حاضر با نتایج پژوهشگران دیگر در ریحان (۲۹)، گوجه‌فرنگی (۶۰) و سیب‌زمینی (۶۹) هم‌خوانی

غلظت عناصر غذایی برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر سلنات و سلنیت سدیم در سطح احتمال یک درصد بر غلظت عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در برگ نعنای فلفلی معنی‌دار شد (جدول ۳). به‌طور کلی براساس مقایسه میانگین داده‌ها، غلظت تمامی عناصر غذایی پرمصرف با افزایش غلظت سلنیوم کاهش یافت و غلظت سلنیوم و تمامی عناصر غذایی کم‌مصرف (غیر از منگنز و مولیبدن) افزایش نشان داد (جدول ۴). احتمالاً رابطه آنتاگونیستی و سینرژیسم بین عناصر غذایی مورد بررسی در این پژوهش سبب افزایش و یا کاهش در غلظت برخی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در تیمارهای کاربرد سلنیت سدیم و سلنات سدیم در گیاه نعنای فلفلی شده است. بیش‌ترین غلظت نیتروژن برگ (۲/۳ درصد وزن خشک برگ) در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم حاصل شد که افزایش ۴۳/۷ درصدی نسبت به شاهد داشت؛ ولی تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم نداشت. کم‌ترین غلظت نیتروژن برگ (۰/۷ درصد وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم به‌دست آمد. تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم بیش‌ترین غلظت فسفر برگ (۰/۳ درصد وزن خشک برگ) را نشان داد که افزایش ۱۱/۱ درصدی نسبت به شاهد داشت. کم‌ترین غلظت فسفر (۰/۲ درصد وزن خشک برگ) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و همچنین تیمارهای ۸ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم نداشت. بیش‌ترین غلظت پتاسیم (۱/۵۷ درصد وزن خشک برگ) و کلسیم (۲/۰۱ درصد وزن خشک برگ) برگ در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم حاصل شد. افزایش ۳/۲ و ۱۱/۶ درصدی غلظت پتاسیم و کلسیم برگ نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. کم‌ترین غلظت پتاسیم (۱/۱۲ درصد وزن خشک برگ) و کلسیم (۱/۰۵ درصد وزن خشک برگ) برگ در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم حاصل شد. بیش‌ترین

میزان منیزیم (۰/۸۳ درصد وزن خشک برگ) و کم‌ترین مقدار آن (۰/۴۱ درصد وزن خشک برگ) به‌ترتیب در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم توانست ۹/۲ درصد منیزیم برگ را نسبت به شاهد افزایش دهد.

بیش‌ترین میزان روی برگ (۲۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که افزایش ۶۳/۳ درصدی نسبت به شاهد داشت. کم‌ترین مقدار روی در تیمار شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها (غیر از تیمار ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم) داشت. تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم سبب بیش‌ترین مقدار غلظت منگنز (۹۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ نعنای فلفلی شد و تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم کم‌ترین میزان منگنز (۷۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد. کاهش ۸۹/۴ درصدی منگنز نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها غیر از تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم داشت. بیش‌ترین مقدار آهن برگ (۳۲۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و کم‌ترین میزان آن (۲۰۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد مشاهده شد. افزایش ۶۰/۲ درصدی جذب آهن برگ نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها (بجز تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم) داشت. بیش‌ترین مقدار بور برگ (۱۰۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم اندازه‌گیری شد که ۲۵/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت و کم‌ترین مقدار آن (۸۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین غلظت مس برگ (۲۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شاهد و سایر تیمارها داشت و کم‌ترین مقدار آن (۱۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد دیده شد. بیش‌ترین میزان مولیبدن برگ (۰/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم دیده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها (بجز تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم)

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر سولفات سدیم و سولنیت سدیم بر غلظت عناصر در برگ نعنای فلفلی.
Table 3. Analysis of variance (mean squares) of the effects of sodium selenate and sodium selenite on nutrients concentration in *Mentha piperita* leaf.

Source of variation	df	MS											
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Mo	Se
		نیترژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	روی	منگنز	آهن	بور	مس	مولیبدن	سلنیوم
Treatment	6	0.95**	0.0046**	0.089**	0.40**	0.089**	725.8**	440.9**	4584.5**	216.02**	13.89**	6.108**	62490.7**
Error	14	0.052	0.00016	0.003	0.02	0.0007	4.96	16.97	3.42	5.69	0.065	0.032	2.0
CV (%)	14.1	5.2	4.08	9.3	4.3	1.4	4.7	0.7	2.5	0.01	8.9	0.9	

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می دهد.

** shows significant at 1 percent probability level, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سولفات سدیم و سولنیت سدیم بر غلظت عناصر غذایی در برگ نعنای فلفلی.
Table 4. Mean comparisons of the effect of sodium selenate and sodium selenite on nutrients concentration in *Mentha piperita* leaf.

Treatment	Concentration (mg l ⁻¹)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)
Control	0	1.6 ^{bc}	0.27 ^a	1.52 ^a	1.80 ^{ab}	0.76 ^a	124.3 ^d	85.1 ^b	204.7 ^d	86.2 ^c	15.5 ^e	0.005 ^b	00.0 ^e
Selenate	4	2.2 ^{ab}	0.30 ^a	1.57 ^a	2.01 ^a	0.83 ^a	141.4 ^c	97.2 ^a	215.0 ^c	88.1 ^{bc}	16.2 ^{de}	0.060 ^a	189.0 ^c
Selenate	8	1.9 ^{abc}	0.22 ^b	1.32 ^{bc}	1.50 ^{bc}	0.54 ^b	130.6 ^{cd}	93.4 ^{ab}	274.5 ^b	93.3 ^{ba}	18.5 ^c	0.004 ^b	306.7 ^b
Selenate	12	1.4 ^c	0.206 ^b	1.15 ^{cd}	1.20 ^{cd}	0.44 ^{cd}	160.5 ^{bc}	76.5 ^c	328.2 ^a	108.4 ^a	20.1 ^b	0.003 ^c	314.0 ^a
Selenite	4	2.3 ^a	0.28 ^a	1.42 ^{ab}	1.80 ^{ab}	0.76 ^a	173.5 ^b	86.3 ^b	205.2 ^d	87.1 ^{bc}	16.6 ^d	0.070 ^a	12.0 ^d
Selenite	8	1.2 ^{cd}	0.23 ^b	1.34 ^b	1.30 ^{cd}	0.51 ^{bc}	141.5 ^c	91.1 ^{ab}	250.3 ^b	91.3 ^b	19.6 ^b	0.005 ^b	12.8 ^d
Selenite	12	0.7 ^d	0.20 ^b	1.12 ^d	1.05 ^d	0.41 ^d	203.0 ^a	77.3 ^c	310.4 ^a	107.5 ^a	21.8 ^a	0.002 ^c	15.7 ^d

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

In each column, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

بر آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)، Fe (mg kg⁻¹); بور (میلی گرم بر کیلوگرم)، B (mg kg⁻¹); مس (میلی گرم بر کیلوگرم)، Cu (mg kg⁻¹); منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)، Mn (mg kg⁻¹); مولیبدن (میلی گرم بر کیلوگرم)، Mo (mg kg⁻¹); سولنیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)، Se (mg kg⁻¹); نیترژن (میلی گرم بر کیلوگرم)، N (%); فسفر (درصد)، P (%); کلسیم (درصد)، Ca (%); منیزیم (درصد)، Mg (%); روی (میلی گرم بر کیلوگرم)، Zn (mg kg⁻¹); منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)، Mn (mg kg⁻¹); سولنیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)، Se (mg kg⁻¹); بور (درصد)، B (%); مس (درصد)، Cu (%); منگنز (درصد)، Mn (%); مولیبدن (درصد)، Mo (%); سولنیوم (درصد)، Se (%).

سلنیوم در گیاه است (۳۴).

نتایج راموس (۵۶) نشان داد استفاده از سلنیوم به فرم سلنات در برنامه غنی‌سازی کاهو در غلظت‌های کم بسیار سودمند است و سبب رشد گیاه و انتقال سلنیوم به ساقه می‌شود. انتقال سلنیوم زمانی که از فرم سلنات استفاده می‌شود بیشتر است. استفاده از سلنیوم در گیاه کاهو و شیکوره سبب افزایش غلظت سلنیوم برگ شد و اثر مثبتی بر عملکرد گیاه داشته است (۴۳). فعالیت لیپیدپروکسیداسیون در برگ‌ها به غلظت سلنیوم در شاخه و فرم شیمیایی استفاده شده از سلنیوم بستگی دارد. در گندم (۵۰) و چچم (۱۲)، سلنیوم در مقادیر کم به شکل آنتی‌اکسیدانتی عمل کرده و سبب کاهش فعالیت لیپیدپروکسیداسیون می‌شود؛ ولی در غلظت‌های زیاد سلنیوم فعالیت لیپیدپروکسیداسیون افزایش می‌یابد. در این پژوهش میزان سلنیوم در گیاهان تیمار شده با سلنات سدیم به دلیل تحرک بیش‌تر آن نسبت به سلنیت سدیم بیش‌تر است. بر اساس نتایج هو و همکاران (۳۱)، انتقال سلنات سدیم از ریشه به شاخساره آسان‌تر انجام می‌شود و سلنات سدیم تحرک بیش‌تری نسبت به سلنیت سدیم در گیاه دارد؛ ولی تجمع سلنات سدیم نسبت به سلنیت سدیم آهسته‌تر است. نتایج پژوهشگران نشان داد کاربرد سلنیوم به فرم سلنات سدیم نسبت به سلنیت سدیم سبب افزایش قابل توجه میزان سلنیوم در شاخه و ریشه گیاه کلزا می‌شود (۶۳). میل ترکیبی بین گیرنده‌های سولفات و سلنات علت تفاوت بین سلنات و سلنیت است که سبب تسهیل در جذب و انتقال سلنات می‌شود (۷۲).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین غلظت نیتروژن با کمترین مقدار کاربرد سلنیت و سلنات سدیم (۴ میلی‌گرم بر لیتر) همراه بود. با افزایش مقدار کاربرد سلنات و سلنیت سدیم، غلظت نیتروژن در برگ گیاه نعنای فلفلی کاهش یافت که با نتایج به‌دست آمده در گیاهان پیاز (۴)، کاهو (۵۷) و پیاز (۵۴) همخوانی دارد. سلنیت و سلنات سدیم سبب افزایش متابولیسم نیتروژن شده و با اثر بر ناقلین نیترات در غشاء سبب کاهش جذب نیترات و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و

نشان داد. کم‌ترین میزان مولیدن برگ در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد. بیش‌ترین میزان سلنیوم (۳۱۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برگ در تیمار ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. سطوح ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت سلنیوم برگ گیاه نعنای فلفلی نسبت به تیمار شاهد و سطوح ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیت سدیم شدند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش سلنیوم، غلظت سلنیوم برگ افزایش یافت (جدول ۴).

براساس نتایج این پژوهش، با افزایش غلظت سلنات سدیم و سلنیت سدیم در محلول غذایی غلظت سلنیوم گیاه نعنای فلفلی افزایش یافت (جدول ۴) که مشابه نتایج به‌دست آمده در اسفناج (۵۹)، گندم (۱۵)، ذرت (۴۲) و پیاز (۴) است. سلنیوم در گیاهان سبب سنتز اسیدهای آمینه غیرپروتئینی به فرم سلنو متیل سلنوسیتئین و یا سلنو سیستاسیون شده و مانع از حضور غیراختصاصی سلنو آمینو اسیدها در ساختار پروتئینی می‌شود (۴). سلنوسیتئین اولین فرم آلی سلنیوم است که تولید می‌شود. این آمینو اسید تولید شده به‌صورت غیراختصاصی می‌تواند به جای سیستئین به پروتئین‌ها متصل شده و سبب ایجاد غلظت سمی در گیاه شود. در یک مسیر دیگر، سلنوسیتئین می‌تواند با تبدیل شدن به سلنومتیونین وارد ساختار پروتئین‌ها شود که آثار مضر کم‌تری دارد. همچنین تبدیل سلنومتیونین به ترکیب فرار دی متیل سلنید سبب آزاد شدن مقادیر اضافی سلنیوم در گیاه می‌شود (۱۰). نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد دو فرم سلنیوم در سطوح پایین سبب تجمع این‌عنصر در برگ گیاه نعنای فلفلی شد که احتمالاً سنتز سلنو متیل سلنوسیتئین‌ها افزایش می‌یابد. استفاده از سلنیت سدیم و سلنات سدیم در مقادیر زیاد به دلیل فرار گرفتن سلنیوم به‌جای گوگرد در اسیدهای آمینه گوگرددار سبب ایجاد آثار سمی در گیاه می‌شود. اسیدهای آمینه سلنیوم‌دار در ساختار سوم پروتئین و وظایف آن‌ها تغییراتی ایجاد کرده و تأثیرگذار است. بنابراین ساختن پروتئین‌هایی که در آنها سلنیوم به جای سیستئین قرار گیرد علت اصلی سمیت

هدایت این کانال‌ها شده و در نتیجه موجب تغییر در نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌های سدیم و پتاسیم می‌شود (۴). سلنیوم می‌تواند میزان انباشتگی و جذب برخی یون‌ها (پتاسیم، کلسیم و سدیم) را تغییر دهد (۵۲). نتایج این پژوهش با نتایج به دست آمده در گیاهان منداب (۳۹)، کلرلا (۱۴)، اسفناج (۴۰) و پیاز (۴) هم‌خوانی دارد. در آزمایش حاضر افزایش غلظت سلنیوم سبب کاهش جذب فسفر و در نتیجه کاهش رشد ریشه شد. بنابراین قدرت ریشه برای جذب فسفر کاسته شده و فسفر که به‌عنوان یک عنصر غیرمتحرک است در اثر تنش به‌سرعت رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (۲۱). نتایجی مغایر با این پژوهش توسط خادمی‌آستانه (۳۶) در کلم گزارش شده است. به‌طوری‌که با افزایش غلظت سلنیوم، غلظت پتاسیم برگ در کلم افزایش یافت. به‌طور کلی در شرایط تنش، کاهش یون‌های کلسیم، منیزیم و فسفر به‌علت اثر آنتاگونیستی بین یون‌ها است (۳۸). در پژوهش حاضر، کاهش جذب عناصر فسفر، کلسیم و منیزیم توسط نعنای فلفلی را می‌توان به کاهش حلالیت و فراهمی عناصر، کاهش رشد و تعرق و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه در شرایط غلظت زیاد سلنیوم نسبت داد.

در پژوهش حاضر، نتایج نشان داد افزایش غلظت عنصر مس و آهن در برگ نعنای فلفلی در سطوح پایین سلنات سدیم و سلنیت سدیم نسبت به شاهد معنی‌دار نبود و در سطوح بالای سلنات سدیم و سلنیت سدیم افزایش معنی‌داری نشان داد. غلظت مولیبدن در برگ نعنای فلفلی در این آزمایش با افزایش غلظت سلنیوم کاهش یافت. با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی، غلظت عناصر روی و بور در برگ نعنای فلفلی افزایش یافت. فلزاتی مانند آهن، روی، مس، منگنز و مولیبدن برای متابولیسم گیاه به مقدار کمی ضروری هستند و نقش بسیار مهمی در برخی فرآیندهای گیاه مانند تثبیت نیتروژن، دکربوکسیلاسیون، فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها ایفا می‌کنند. برای محافظت از لیپیدها و پروتئین‌های غشاء از خسارت‌های اکسیداتیو، عنصر روی مورد نیاز است. از اجزای فلزی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز

نیتريت ردوكتاز می‌شود. نیاز گیاهان به ترکیبات نیتروژنه موجب افزایش آسمیلاسیون گوگرد می‌شود. کاربرد سلنیوم سبب افزایش نیاز گیاهان به ترکیبات نیتروژنه شده و همچنین فعالیت آنزیم نیترات ردوكتاز افزایش می‌یابد که در نهایت موجب افزایش متابولیسم گوگرد می‌شود. این فرآیند سبب افزایش آنزیم‌های آسمیلاسیون نیتروژن شده و در نتیجه غلظت نیتروژن کاهش می‌یابد (۴). در پژوهش انجام شده توسط ریوس و همکاران (۵۷)، استفاده از غلظت‌های مختلف سلنیت سدیم و سلنات سدیم در محلول غذایی هوگلند سبب کاهش جذب نیترات و افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوكتاز و نیتريت ردوكتاز در گیاه کاهو شد. کاربرد سلنیوم موجب افزایش بیش‌تر اسیدهای آمینه نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۳۶). آسپارتیک اسید نقش بسیار مهمی در انتقال و ذخیره‌سازی نیتروژن ایفا می‌کند. سلنیوم اثر مثبتی بر محتوای آسپارتیک اسید دارد و سبب افزایش آن و در نتیجه نیتروژن می‌شود (۴۱). متابولیسم سلنیوم با متابولیسم مواد نیتروژنه به‌ویژه اسیدهای آمینه ارتباط نزدیکی دارد و سبب بهبود فرآیند آسمیلاسیون نیتروژن و کاهش میزان نیترات و در نهایت افزایش میزان اسیدهای آمینه می‌شود. میزان تغییرات غلظت نیتروژن در بین تیمارهای ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم در مقایسه با سلنات سدیم بیش‌تر است. زیرا سلنیت سدیم با اثر بیش‌تر بر ناقلین نیترات در غشاء (که احتمالاً اثر سلنیت بر ناقلین نیترات در غشاء، شدیدتر از سلنات است) باعث کاهش جذب نیترات شده و در نتیجه بر جذب نیتروژن مؤثر است (۴). افزایش غلظت سلنیت و سلنات سدیم در محلول غذایی با کاهش مقدار منیزیم و کلسیم در برگ نعنای فلفلی همراه بود که با نتایج پژوهشگران دیگر عامریان (۴)، گالدون (۲۳) و پولدما (۵۴) هم‌خوانی دارد. غلظت پتاسیم برگ در نعنای فلفلی با افزایش غلظت سلنیت سدیم و سلنات سدیم کاهش یافت. غلظت زیاد سلنیوم مانع جذب و انتقال برخی عناصر می‌شود (۵۹). برخی کانال‌های واکوئل، تنظیم ورود یون‌های سدیم و پتاسیم به سیتوزول را برعهده دارند. سلنیوم سبب اثر منفی بر

نتیجه‌گیری کلی

بررسی اثر کاربرد سلنیوم در گیاه نعناع فلفلی نشان داد که فرم (سلنات سدیم و سلنیت سدیم) و غلظت آن‌ها بر ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر برگ این گیاه تأثیرگذار بود. غلظت کم دو فرم سلنیوم موجب افزایش تمامی صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده و همچنین افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف، منگنز و مولیبدن شد. براساس یافته‌های این پژوهش غلظت کم سلنات و سلنیت سدیم موجب بهبود صفات مورفولوژیک گیاه شد. افزایش غلظت سلنات و سلنیت سدیم سبب ایجاد سمیت در گیاه و موجب کاهش غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم شد که در نهایت رشد گیاه محدود شد. به دلیل جذب و تحرک بیش‌تر سلنات سدیم نسبت به سلنیت سدیم در گیاه نعناع فلفلی تأکید بر استفاده سلنات سدیم است. لذا چنین به نظر می‌رسد کاربرد ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات و سلنیت سدیم با بهبود شرایط رشدی و افزایش زیست‌توده کل گیاه نعناع فلفلی از نظر اقتصادی کمک شایانی به تولیدکنندگان این محصول می‌کند. در صورتی‌که این عنصر در فرمول‌های کودی باصرفه اقتصادی تولید شود قطعاً می‌تواند به رشد گیاه و سلامتی جامعه کمک کند. به‌منظور اثبات آثار سلنات سدیم و سلنیت سدیم بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بیش‌تری در سطح وسیع‌تر انجام گیرد. جذب عناصر غذایی و قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی در شرایط کشت بدون خاک و تنش از موضوعات پیچیده‌ای است و با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و آثار مفید و فراوان سلنیوم در غلظت‌های کم برای سلامت و تغذیه انسان و جانداران، لازم است بررسی‌های گسترده‌تری در این زمینه انجام شود.

می‌توان عناصر روی، منگنز، مس و آهن را نام برد (۲۲). تحرک یون‌ها در گیاهان متفاوت است و توزیع یون‌ها در تمام بخش‌های گیاه به‌صورت مساوی نیست. برخی از عناصر غذایی کم-مصرف به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (آهن، منگنز، مس و روی)، آنزیم پراکسیداز (آهن)، آنزیم کاتالاز (آهن) و آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوستز کلروفیل (آهن) بوده و احتمالاً سبب تغییر در غلظت برخی عناصر غذایی کم‌مصرف می‌شوند (۶۸). جذب عناصر غذایی با جذب آب توسط ریشه ارتباط تنگاتنگی دارد. نوارهای کاسپاری در آندودرم ریشه باعث جلوگیری از حرکت شعاعی یون‌ها می‌شوند. بنابر گزارش ساینبا و همکاران (۵۸) با کاربرد سلنات و سلنیت سدیم مقدار آب کم‌تری در ریشه نخود مشاهده شد که این کم-آبی در ریشه سبب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جابجایی عناصر غذایی کم‌مصرف می‌شود. بنابراین اثر منفی اعمال شده بر انتقال عناصر غذایی کم‌مصرف به اندام‌های هوایی احتمالاً ناشی از کم‌آبی و آسیب به غشاء سلول‌های ریشه است که البته پژوهش‌های بیش‌تری برای اثبات این فرضیه لازم است. اسپچیان و همکاران (۵۹) گزارش کردند کاربرد مقادیر کم سلنیوم در گیاه گوجه‌فرنگی سبب کاهش غلظت بسیاری از عناصر غذایی کم‌مصرف شد. نتایج پژوهش‌های هی و همکاران (۳۰) نشان داد با افزایش سلنیوم، غلظت آهن در کلم چینی کاهش یافت که با نتایج پژوهش حاضر تناقض دارد. افزایش غلظت مس و آهن در گیاه نعناع فلفلی با کاربرد سلنیوم در پژوهش حاضر با نتایج ساینبا و همکاران (۵۸) هم‌خوانی دارد. نتایج این پژوهش هماهنگ با نتایج به‌دست آمده در پیاز (۴) است که کاهش غلظت منگنز در برگ را در سطوح بالای (۱۲) میلی‌گرم بر لیتر) سلنیت و سلنات سدیم نشان داد؛ ولی مقدار جذب بور و روی با افزایش غلظت سلنیت و سلنات افزایش یافت که با نتایج آن‌ها هم‌خوانی نداشت.

منابع مورد استفاده

1. Aghighi Shahverdi, M., Omid, H., Tabatabai, J., 2017. Effect of foliar application of iron, boron and selenium on root morphological properties and photosynthetic pigment content of (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under salinity stress

- of sodium chloride. *Journal of Plant Environmental Physiology* 47: 1–18.
2. Ahmadi, M., Souri, M.K., 2018. Growth and mineral elements of coriander (*Corianderum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologia Plantarum* 40: 94–99.
 3. Akhavan, S., Shaabanpor, M., Esfahani, M., 2013. Effect of soil density and texture on the growth of roots and shoots of wheat. *Journal of Water and Soil* 27(3): 727–735.
 4. Amerian, M., 2012. Effect of Nitrogen, Selenium and Nanoselenium on Some Phytochemical Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.). PhD Thesis, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Iran.
 5. Amerian, M., Dashti, F., Delshad, M., 2014. Effect of different sources and levels of selenium on growth and some physiological characteristics of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Production Technology*. 12(2): 163–179.
 6. Amerian, M., Zebajadi, A.R., Mehrabi, J.A., 2020. Effect of different concentrations of selenium on some morphological and physiological characteristics of Dragons Head (*Lallemantia iberica*) under different irrigation regimes. *Journal of Water Research in Agriculture* 34(3): 416–431.
 7. Asadi, M., Nasiri, Y., Mola Ali Abasiyan, S., Morshedloo, M., 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of peppermint under the influence of amino acids, chemical and organic fertilizers. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 28(3): 258–275.
 8. Azizi, F., 2017. Effects of Water Stress and Growth Medium Containing Selenium on Morpho-Physiological Properties of Strawberry in Hydroponic Culture Conditions. MSc Thesis, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.
 9. Baker, A.V., Pilbeam, D.M.J., 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor and Francis Group Press, Boca Raton, FL.
 10. Bazl, Sh., 2014. Effect of Selenium and Sulfur on Growth Characteristics and Some Phytochemical Properties of Onion cv. Ghermez Azar Shahr. MSc Thesis, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Iran.
 11. Benton Jones, J., 2005. Hydroponics: A Practical Guide for The Soilless Grower. CRC Press, Boca Raton, New York, Washington DC.
 12. Cartes, P., Gianfera, L. Mora, M.L., 2005. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied a selenate and selenite forms. *Plant and Soil* 276: 359–367.
 13. Chandrashekara, K., Somashekarappa, H.M., 2016. Estimation of radionuclides concentration and average annual committed effective dose due to ingestion for some selected medicinal plants of South India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 9(1): 68–77.
 14. Chen, C.C., Sung, J.M., 2001. Priming bitter gourd seeds with selenium solution enhanced germinability and antioxidative responses under sub-optimal temperature. *Physiologia Plantarum* 111: 9–16.
 15. Chu, J., Yao, X., Yue, Z., Li, J., Zhao, J., 2013. The effects of selenium on physiological traits, grain selenium content and yield of winter wheat at different development stages. *Biological Trace Element Research* 151: 434–440.
 16. Ducsay, L., Ložek, O., Varga, L., 2009. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. *Plant, Soil and Environment* 55(2): 80–84.
 17. Dziubinskaa, H., Filekb, M., Krol, E. Trebacz, K., 2010. Cadmium and selenium modulate slow vacuolar in rape (*Brassica napus*) vacuoles. *Journal of Plant Physiology* 167: 1566–1570.
 18. Ekanayake, L.J., Thavarajah, D., Vial, E., Schatz, B., McGee, R., Thavarajah, P., 2015. Selenium fertilization on lentil (*Lens culinaris* Medikus) grain yield, seed selenium concentration, and antioxidant activity. *Field Crop Research* 177: 9–14.
 19. Elkelish, A.A., Soliman, M.H., Alhaithloul, H.A., El-Esawi, M.A., 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry* 137: 144–153.
 20. Emami, A., 1997. Methods of Plant Analysis. Publications of Soil and Water Research Institute. Tehran.
 21. Farsaraei, S., Moghaddam, M., 2020. Influence of three types of superabsorbents on growth characteristic and elements uptake in basil under salinity stress. *Horticultural Plants Nutrition* 3(2): 159–174.
 22. Filek, M., Zembala, M., Kornaś, A., Walas, S., Mrowiec, H., Hartikainen, H., 2010. The uptake and translocation of macro- and microelements in rape and wheat seedlings as affected by selenium supply level. *Plant and Soil* 336: 303–312.
 23. Galdon, B.R., González, R.O., Rodríguez, E.R., Romero, C.D., 2008. Comparison of mineral and trace element contents in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 1554–1561.
 24. Ghasemi, K., 2017. Selenium enrichment of crops and its effect on plant physiology. *Plant Production Technology* 17(2): 193–207.
 25. Habibi, Gh., Ghorbanzade, P., Abedini, M., 2017. Effects of selenium application on physiological parameters of *Melissa officinalis* L. plants. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 32(4): 699–715.
 26. Hajiboland, R., Keivanfar, N., 2011. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Agriculture Slovenia* 99(1): 13–19.
 27. Hall, J.L., Williams, L.E., 2003. Transition metal transporters in plants. *Journal of Experimental Botany* 54: 2601–2613.

28. Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., Wei-Jun, K., 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 41: 1195–1204.
29. Hawrylak-Nowak, B., 2008. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. *Journal of Elementology* 13 (4): 513–519.
30. He, P.P., Lv, X.Z., Wang, G.Y., 2004. Effects of Se and Zn supplementation on the antagonism against Pb and Cd in vegetables. *Environment International* 30: 167–172.
31. Hu, Q.H., Xu, J., Pang, G.X., 2003. Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3379–3381.
32. Malik, J.A., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S., Kaur, N., Kaur, R., Nayyar, H., 2010. Promotion of growth in mungbean (*Phaseolus aureus Roxb.*) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. *Biological Trace Element Research* 143(1): 530–539.
33. Karimi, N., Saiedikhah, Z., 2018. Effect of selenium on growth and some physiological parameters of *Allium iranicum Wendelbo* and *Allium ampeloprasum L.* *Journal of Plant Process and Function* 7(24): 183–198.
34. Katarzyna, W., Kazimierz, W., Sasi, S.K., Joseph, A.C., Irena, A.W., Ewa, B., Justyna, S.T., Małgorzata, W., 2004. HPLC–ICP–MS speciation of selenium in enriched onion leaves – a potential dietary source of S-methylselenocysteine. *Food Chemistry* 86: 617–623.
35. Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S.A.M., Mehdipour Afra, M., 2018. Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two mint species. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 21: 1674–1681.
36. Khademi Astane, R., 2012. Effect of Se on the yield and quality characteristics of Brussels sprouts grown in floating system. MSc Thesis, University of Tabriz.
37. Khademi Astane, R., Tabatabai, J., Bolandnazar, S., 2017. Effect of selenium on yield and vegetative characteristics of cabbage cultivated in hydroponics. *Journal of Horticultural Science* 31(1): 167–179.
38. Khan, M.A., Ungar, I.A., 2000. Alleviation of salinity-enforced dormancy in *Atriplex griffithii* Moq. var. stocksii Boiss. *Seed Science and Technology* 28: 29–37.
39. Khattab, H., 2004. Metabolic and oxidative responses associated with exposure of *Eruca sativa* (rocket) plants to different levels of selenium. *International Journal Agriculture Biology* 6: 1101–1106.
40. Lahoti, M., Ganjali, A., Saffaryazdi, A., 2011. Metabolic response of spinach plant (*Spinacia oleracea L.*) to different levels Selenium. In: International Congress of Applied Biology, Mashhad, Iran, September 1–2, 297.
41. Lea, P.J., Sodek, L., Parry, M.A.J., Shewry, P.R., Halford, N.G., 2007. Asparagine in plants. *Annals Applied Biology* 150: 1–26.
42. Longchamp, M., Angeli, N., Castrec-Rouelle, M., 2013. Selenium uptake in *Zea mays* supplied with selenite or selenate under hydroponic conditions. *Plant and Soil* 362: 107–117.
43. Malorgio, F., Diaz, k., Ferrante, A., 2009. Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 2243–2251.
44. Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
45. Moradi Larmaei, F., Rezaei, Sh., Khanmirzaei, A., 2020. Comparison of some biofertilizers on morphological characteristics and macronutrient content of peppermint (*Mentha piperita L.*). *Iranian Journal of Plant Biology* 12(1): 58–69.
46. Mousavi Kouhi, S.M., Lahouti, M., Ganjeali, A., 2019. Effect of ZnO Nanoparticles application on mineral absorption in rapeseed. *Journal of Plant Research* 33(2): 374–385.
47. Murphy, J., and Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31–36.
48. Namdar, M., Arvin, S.M.J., Bahremand, N., 2018. Effect of selenium on growth, physiological and biochemical indices of garlic plant (*Allium sativum*) under cadmium toxicity. *Journal of Plant Process and Function* 8(30): 138–153.
49. Noroozlo, Y.A., Souri, M.K., Delshad, M., 2019. Effects of soil application of amino acids, ammonium, and nitrate on nutrient accumulation and growth characteristics of sweet basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(22): 2864–2872.
50. Nowak, J., Kaklewski, K., Ligocki, M., 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1553–1558.
51. Parham, J.A., Deng, S.P., Da, H.N., Sun, H.Y., Raun, W.R., 2003. Effect on soil microbial populations and community structure. *Biology and Fertility of Soils* 38: 209–215.
52. Pazurkiewicz-Kocot, K., Andrzej, K., Mariusz, P., 2008. Effect of selenium on magnesium, iron, manganese, copper, and zinc accumulation in corn treated by indole-3-acetic acid. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 39: 2303–2318.
53. Pilon-Smits, E.A., Quinn, C.F., 2010. Selenium Metabolism in Plants. Cell Biology of Metals and Nutrients. Springer, Berlin Heidelberg.
54. Poldma, P., Moor, U., Tõnutare, T., Herodes, K., Rebane, R., 2013. Selenium treatment under field condition

- affects mineral nutrition, yield and properties of bulb (*Allium cepa* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 12(6): 167–181.
55. Por Membini, S., Mortazavi, M., Moallemi, N., Mozafari, A., Akd Moezi, A., 2016. Effect of culture date and nutrient solution concentration on yield components and some fruit quality characteristics Strawberry (*Fragaria ananassa* × *Duch.*), Kamarza cultivar in Ahvaz climatic conditions. *Plant Production Journal of Agricultural Science* 38(4): 14–24.
56. Ramos, S.J., Faquin, V., Guilherme, L.R.G., Castro, E.M., Ávila, F.W., Carvalho, G.S., Bastos, C.E.A., Oliveira, C., 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment* 56(12): 584–588.
57. Ríos, J.J., Blasco, B., Cervilla, L.M., Rosales, M.A., Sanchez-Rodriguez, E., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1914–1919.
58. Sabina, L., Barbara, P., Sylwester, S., 2017. Effects of selenium on the content of essential micronutrients and the irtranslocation in garden pea. *Journal of Elementology* 24(4): 1307–1317.
59. Safaryazdi, A., Lahoti, M., Ganjali, A., 2012. Effect of different concentrations of selenium on plant physiological characteristics of spinach (*Spinacia oleraceae*). *Journal of Horticultural Science* 26(3): 292–300.
60. Schiavon, M., Acqua, S.D., Mietto, A., Pilon-Smits, E.A.H., Sambo, P., Masi, A., Malagoli, M., 2013. Selenium fertilization alters the chemical composition and antioxidant constituents of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 10542–10554.
61. Shahbazi, K., Beheshti, M., 2019. The Study effect of lime on heavy metals recovery in *Aqua regia* media (method ISO 11466). In: 16th Iranian Soil Science Congress, University of Zanjan, Iran, August 27–29.
62. Shamsai, A.A., Aran, M., Fakheri, B.A., 2020. The effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions* 2(2): 128–139.
63. Sharma, S., Bansel, A., Dhillon, S., Dhillon, S., 2009. Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil* 329: 339–348.
64. Shekari, L., Mozafariyan, M., Kamelmanesh, M.M., Sadeghi, F., 2017. Effect of selenium on some morphological and physiological properties of Hot Pepper (*Capsicum annum*) grown in hydroponic culture. *Journal of Plant Production Technology* 9(1): 91–98.
65. Simojoki, A.T., Xue, K., Lukkari, A., Pennen, R., Hartikainen, H., 2003. Allocation of added selenium in lettuce and its impact on roots. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 12: 155–164.
66. Tabatabaei, J., 2015. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University.
67. Turakainen, M., 2007. Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato. *Julkaisuja/Helsingin Yliopisto, Soveltavan Biologian Laitos*. 50–55.
68. Willian, A.N., Mariano, M.H., Laura, O.F., Adalberto, B.M., Jesús, R.V., José, A.G., 2018. Effect of selenium application on mineral macro- and micronutrients and antioxidant status in strawberries. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 91: 321–331.
69. Yassen, A., Safia, A., Adam Sahar, M., Zaghloul, M., 2011. Impact of nitrogen fertilizer and foliar spray of selenium on growth, yield and chemical constituents of potato plants. *Journal of Applied Sciences Research* 7(11): 1296.
70. Yousefzadeh, F., Pourakbar, L., Farhadi, Kh., Mulaei, R., 2018. Investigation of the effect of copper nanoparticles and copper chloride solution on germination and some morphological and physiological factors of the plant (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Research* 3: 186–198.
71. Zangene, L., 2020. Effect of selenium on some morpho-physiological and biochemical characteristics of *Zinnia elegans* L. under NaCl salinity stress. MSc Thesis, Lorestan University, Iran.
72. Zhang, Y., Pan, G., Chen, J., Hu, Q., 2003. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. *Plant and Soil* 253: 437–443.



Effect of Different Levels of Sodium Selenate and Selenite on Morphological Characteristics and Nutrients Concentration in Peppermint

H. Jafari¹ and M. Moghaddam*

(Received: 11 May 2022; Accepted: 7 August 2022)

Abstract

To investigate the effect of sodium selenate (Na_2SeO_4) and sodium selenite (Na_2SeO_3) on some morphological characteristics and nutrients concentration in peppermint, an experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. Different levels of sodium selenate and sodium selenite (0, 4, 8, and 12 mg l^{-1}) were applied in soilless cultivation in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Then morphological traits and the concentrations of nutrients in the leaf were measured in the flowering stage. The results showed that the application of two forms of selenium at a concentration of 4 mg l^{-1} increased the growth traits in peppermint. The highest concentration of both salts decreased the plant growth. The results also showed that with increasing the concentration of selenite and sodium selenate, the selenium concentration increased, but the use of sodium selenate caused higher concentration of this element in the leaf. At a concentration of 4 mg l^{-1} selenium, the concentrations of macronutrients including nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in the leaf increased by 43.7, 11.1, 3.2, 11.6, and 9.2%, respectively, compared to the control but were not significant. The highest nitrogen concentration was observed at the concentration of 4 mg l^{-1} sodium selenite 43.7% greater than the control. With increasing the concentration of selenium, except for molybdenum and manganese, the concentration of zinc, iron, boron, and copper increased. The highest concentrations of iron and boron were obtained at 12 mg l^{-1} sodium selenate, 60.2 and 25.7% greater compared to the control, respectively. The highest concentrations of zinc and copper measured at 12 mg l^{-1} sodium selenite were 63.3 and 40.6% greater than the control, respectively. In general, it is concluded that 4 mg l^{-1} of sodium selenate can be applied to improve the growth and nutritional condition of the peppermint.

Keywords: Nutrient concentration, Root length, Selenium, Total biomass.

Background and Objective: Peppermint (*Mentha piperita* L.), belonging to the Lamiaceae family, has been planted as a valuable medicinal plant in many countries (3). Peppermint essential oil and herb are used in traditional medicine to treat colds, muscle cramps, nausea and toothache, and as a flavoring and disinfectant (2). Selenium is one of the useful elements, and its deficiency or toxicity can play an important role in human and animal health and nutrition. Most growth and vegetation characteristics of plants increase due to selenium application. Selenium at low concentrations can increase the uptake of elements and

1- Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Corresponding author, Email: m.moghaddam@um.ac.ir

nutrients by plants and as a result, may increase biomass and improve plant growth. However, it may decrease plant growth at its high concentrations (1). This study was conducted to investigate the effect of sodium selenate and selenite on some morphological characteristics and nutrients concentration in peppermint.

Methods: A pot experiment in a soilless culture medium (sand bed) was conducted in a completely randomized design with four replications. The treatments included different levels of sodium selenate and selenite (4, 8, and 12 mg l⁻¹). The Hoagland's nutrient solution was prepared and its pH and EC were adjusted. In March 2021, healthy rhizomes of peppermint (5–7 cm) were prepared from the research farm of Ferdowsi University of Mashhad. Before planting in pots, the pots were disinfected and washed several times with 3% hydrochloric acid (HCl) and distilled water to be completely free of any waste and elements. A saucer was placed under each pot to collect leachate. The pots were placed in a greenhouse and irrigated with distilled water. The nutrient solution was added to the culture medium according to the plant growth stage and environmental conditions. At the flowering stage, the plant was sampled and morphological traits (leaf fresh and dry weight, stem diameter, stem fresh and dry weight, root length, root volume, and total biomass) and the concentrations of macro- and micro-nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, selenium, iron, zinc, copper, barium, molybdenum, and manganese) in the leaf were measured.

Results: The effect of sodium selenate and selenite on all the measured traits except stem diameter was significant at 1% probability level. The mean comparisons showed that with increasing the selenium concentration, the plant growth characteristics decreased. The application of two forms of selenium at low concentration (i.e., 4 mg l⁻¹) increased the total biomass by 11.3%. The application of 4 mg l⁻¹ sodium selenite increased root volume and length by 13.8 and 17.1%, respectively. The results also showed that with increasing the concentration of sodium selenite and selenate, the selenium concentration in the leaves increased, but selenate was more effective than selenite to increase the selenium concentration in the leaves. At low selenium concentrations, the concentration of macronutrients increased and with increasing the selenium concentration, an increase in the concentration of microelements (except for molybdenum and manganese) was observed.

Conclusions: In general, due to the importance of medicinal plants and health, human nutrition, and based on the results, the application of 4 mg l⁻¹ sodium selenate and sodium selenite effectively improved the growth and increased the concentration of nutrients in the peppermint.

References:

1. Amerian, M., Dashti, F., Delshad, M., 2014. Effect of different sources and levels of selenium on growth and some physiological characteristics of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Plant Production Technology*. 12(2): 163–179.
2. Asadi, M., Nasiri, Y., Mola Ali Abasiyan, S., Morshedloo, M., 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of peppermint under the influence of amino acids, chemical and organic fertilizers. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 28(3): 258–275.
3. Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S.A.M., Mehdipour Afra, M., 2018. Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two Mint species. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 21: 1674–1681.